

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIÓN

INFORME FINAL CASO DE ESTUDIO PARA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL

TEMA:

**“DISEÑO DE UNA RED PASIVA GPON DE PLANTA EXTERNA PARA EL BARRIO
CAPELO EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA”**

Iván Vladimir Jaya Riofrío

Quito – Diciembre 2016

AUTORÍA

Yo, Iván Vladimir Jaya Riofrío, portador de la cédula de ciudadanía No.1718514308, declaro bajo juramento que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y que se han respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes. Esta investigación no contiene plagio alguno y es resultado de un trabajo serio desarrollado en su totalidad por mi persona.

Iván Vladimir Jaya Riofrío

CONTENIDO

1.	Introducción	1
2.	Justificación	2
3.	Antecedentes	3
4.	Objetivos	4
4.1	Objetivo General:	4
4.2	Objetivos Específicos:	4
5.	Desarrollo Caso de Estudio	5
5.1	Marco Teórico	5
5.1.1	Tipos de ODN	6
5.1.2	Red Feeder	6
5.1.3	Red de distribución	6
5.1.4	Red de dispersión	6
5.2	Determinación del área de cobertura y la demanda	7
5.3	Áreas de dispersión (Cobertura de NAPs)	8
5.3.1	Cajas de distribución óptica (NAPs)	8
5.3.2	Cable de dispersión	10
5.3.3	Roseta óptica	12
5.4	Red de distribución (Cobertura de Armarios)	13
5.4.1	Armarios de Distribución óptica	13
5.4.2	Distritos	14
5.4.3	Cables de fibra óptica para distribución	15
5.4.4	Herrajes para cables de fibra óptica para distribución	20
5.5	Red feeder	21
5.5.1	Splitters	21
5.5.2	Cable de feeder	23
5.5.3	Rack y ODFs de planta externa	24
5.6	Volúmenes de materiales	25
5.6.1	Red Feeder	25
5.6.2	Red de Distribución	26
5.7	Cálculo del presupuesto óptico	26
5.7.1	Cliente más lejano	27
5.7.2	Cliente más cercano	28
6.	Conclusiones y Recomendaciones	29
6.1	Conclusiones	29
6.2	Recomendaciones	30
7.	Bibliografía:	31

1. Introducción

Las redes de comunicaciones están en constante evolución y crecimiento, buscando llegar a lugares cada vez más alejados con una mayor velocidad de transmisión de datos y a un costo inferior, es por ello que hace muchos años nació la fibra óptica como una opción eficiente para entregar enlaces de datos de mayor velocidad cubriendo grandes distancias (cientos de kilómetros); sin embargo no fue aplicable en el segmento de acceso de la red debido a su alto costo, quedando relegada hacia aplicaciones de redes troncales y enlaces de transmisión de alta capacidad.

Con la invención del *splitter* (divisor óptico pasivo) se dio paso a la masificación de la fibra óptica para llegar hasta cada uno de los hogares, ya que con este elemento pasivo se puede optimizar y reutilizar los hilos de fibra óptica al permitir que por un solo hilo se pueda transmitir la información (voz, datos y video) que requieren varios clientes.

El propósito del presente caso de estudio es realizar el diseño de una red de planta externa con tecnología GPON (*Gigabit Passive Optical Network*), de acuerdo a los modelos establecidos por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP., para el diseño de ODN (*Optical Distribution Network*) aplicado al sector de CAPELO en la Provincia de Pichincha.

2. Justificación

Para brindar servicios fijos con un alto ancho de banda la mejor de las opciones es la utilización de redes cableadas, en un inicio se masificó el uso de redes cableadas por cobre, sin embargo en la actualidad las mismas están quedando obsoletas debido a la poca distancia de cobertura y al limitado ancho de banda que pueden proveer, de ahí que es indispensable que las nuevas redes de comunicaciones sean diseñadas y construidas utilizando la más alta tecnología a un bajo costo, para este caso las redes GPON.

El presente caso de estudio pretende dar los lineamientos básicos para el diseño de una red GPON y sobretodo explicar las características de cada uno de sus componentes y el por qué se los utiliza, esto permitirá beneficiar tanto a los posibles clientes del Barrio Capelo como a quienes realizan diseños de redes GPON dándoles mayor conocimiento respecto de esta nueva tecnología.

3. Antecedentes

Capelo es un barrio perteneciente a la Parroquia de San Pedro de Taboada, ubicado en el Cantón Rumiñahui dentro de la provincia de Pichincha. Es un centro poblado eminentemente residencial con varias urbanizaciones y domicilios desplegados.

En relación a las telecomunicaciones cuenta con una red de cobre instalada por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP., para proveer servicios de voz, datos y video, esta red se atiende desde la Central San Rafael ubicada en la Avenida Ilaló entre Amazonas y Pastaza, esta red al momento presenta los siguientes problemas:

- La distancia desde la Central San Rafael hasta el barrio Capelo es en promedio de 4000 metros, en la tabla 1 se muestra la relación entre la velocidad de transmisión en ADSL [1], la distancia y el calibre del cable utilizado, teniendo en cuenta que la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP utiliza para la red primaria y red secundaria cable calibre 26AWG, y para la acometida al cliente utiliza cable 17 o 20 AWG se puede brindar servicios de telecomunicaciones con una velocidad máxima aproximada de 4Mbps mediante la red de cobre instalada.

Velocidad	Calibre de cable	Distancia máxima
1,5-2 Mbps	24 AWG	5.5 km
1,5-2 Mbps	26 AWG	4.6 km
6.1 Mbps	24 AWG	3.7 km
6.1 Mbps	26 AWG	2.7 km

Tabla 1. Relación entre velocidad de transmisión, calibre de cable y distancia de la red [1]

- Al momento, La CNT EP gasta grandes cantidades de dinero en la operación y mantenimiento de esta red, ya que los problemas reportados y quejas de los clientes por un deficiente servicio son constantes, asimismo las numerosas reparaciones no tienen una solución definitiva.

Por lo anteriormente expuesto, con este caso de estudio se buscará una solución definitiva al problema.

[1] <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/735/1/T-ESPE-025270.pdf>
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/735>

4. Objetivos

4.1 Objetivo General:

Diseñar una red GPON para brindar servicios de telecomunicaciones al segmento de clientes masivos en el barrio Capelo, Cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha

4.2 Objetivos Específicos:

1. Determinar la demanda aproximada en el área de cobertura de la red a diseñar.
2. Definir las áreas de dispersión (Cobertura de NAPs).
3. Diseñar la red de distribución (Cobertura de Armarios).
4. Diseñar la red *feeder* (troncal) desde la central de comunicaciones hasta cada uno de los armarios existentes.
5. Obtener el volumen de materiales a utilizarse en base a los diseños realizados (Feeder y distribución), y elaborar un presupuesto económico.
6. Determinar el presupuesto óptico para los usuarios críticos (más lejano y más cercano)

5. Desarrollo Caso de Estudio

5.1 Marco Teórico

Una red GPON se compone de elementos activos y elementos pasivos, los elementos activos son la ONT (*Optical Network Terminal*) en el lado del cliente y la OLT (*Optical Line Termination*) con sus respectivos elementos de planta interna en el lado de la central. Para el desarrollo del presente caso de estudio no se realizará un análisis a los elementos activos, ya que los mismos se encuentran instalados y operando en la Central Telefónica de San Rafael de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP y corresponden a la OLT MA5600 marca Huawei, la cual dispone adicionalmente de un ODF (Optical Distribution Frame) de planta interna desde donde se realizarán las conexiones al ODF de planta externa a diseñarse. Las ONTs a utilizarse son del modelo HG8245 marca Huawei, la documentación técnica tanto de la OLT como de la ONT se puede revisar en el Anexo 1 al presente caso de estudio.

Las velocidades de la OLT existente, la cual funciona bajo el estándar ITU-T G.984 Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON) [2] es de 2Gbps en cada puerto de la OLT.

Los elementos pasivos pertenecen a la planta externa y en conjunto se denominan red de distribución óptica (ODN), la cual está compuesta típicamente por tres segmentos de red que son red *feeder*, red de distribución y red de dispersión.

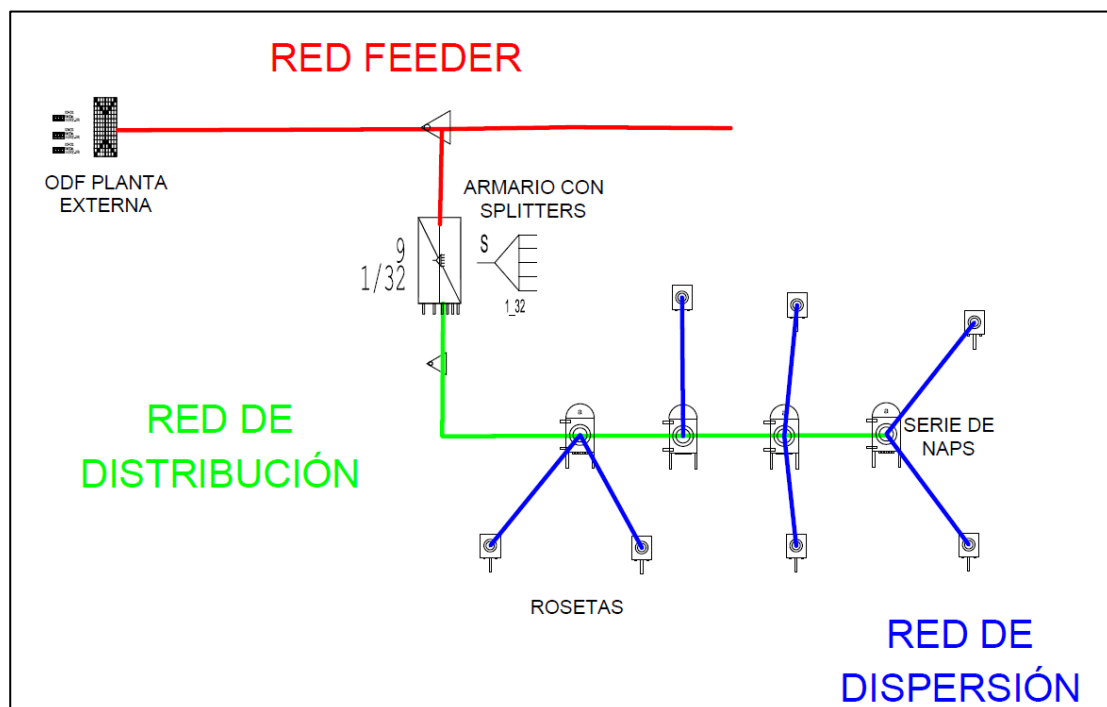


Figura 1. Diagrama esquemático de la ODN a diseñar.

[2] https://en.wikipedia.org/wiki/Passive_optical_network

5.1.1 Tipos de ODN

El presupuesto óptico de un enlace de fibra óptica, para este caso de la ODN se define como la sumatoria de todas las pérdidas de potencia de la red, desde el puerto del OLT hasta el puerto de la ONT más lejana; y, el máximo presupuesto que puede soportar la ODN dependerá del equipamiento activo a utilizarse y de la pérdida de señal que soporten los equipos, estos rangos se dividen en varios grupos que se muestran en la tabla 2 a continuación:

CLASE DE RED GPON	PÉRDIDAS MÁXIMAS	ITU-T
Clase A	5 dB - 20 dB	G.984.2 (2003)
Clase B	10 dB - 25 dB	G.984.2 (2003)
Clase B+	13 dB - 28 dB	G.984.2 Amendment 1 (2006)
Clase C	15 dB - 30 dB	G.984.2 (2003)
Clase C+	17 dB - 32 dB	G.984.2 Amendment 2 (2008)

Tabla 2. Clases de Red GPON [3]

El equipamiento activo que dispone la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP para el despliegue de su red GPON es de clase B y por lo tanto la máxima pérdida admitida por la ODN será de 25dB

5.1.2 Red Feeder

Se compone de todos los elementos pasivos que van desde el ODF de planta externa ubicado en la Central de comunicaciones hasta el *splitter* inclusive. Generalmente los *splitter* se ubican dentro de armarios principales de distribución, los mismos que definen áreas de cobertura o distritos.

5.1.3 Red de distribución

Corresponde a los elementos pasivos después del splitter hasta las cajas de distribución óptica inclusive (NAP: Network Access Point), incluyendo el cable de fibra óptica de distribución.

5.1.4 Red de dispersión

Es el tramo final considerando los elementos después de las NAP hasta las oficinas del cliente final, terminando en una roseta óptica incluyendo el cable de fibra óptica de dispersión.

[3] Recomendaciones ITU-T G.98x <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2/es>

5.2 Determinación del área de cobertura y la demanda

El presente caso de estudio se centrará en el diseño del ODN para el Barrio Capelo, Cantón Rumiñahui, en la Provincia de Pichincha, donde según el censo poblacional del año 2010 [4] y el crecimiento anual que en promedio para el cantón Rumiñahui es del 2.68% [5], con estos datos se estima que a finales del año 2015 la población de la Parroquia San Pedro de Taboada se ubicó en 13736 habitantes y en 10 años, para finales del 2025 se ubicará en 17808 habitantes, con un crecimiento acumulado del 26.30%; además, tomando en cuenta que el barrio Capelo es el más denso poblacionalmente de la parroquia, con alrededor del 50% de habitantes del total, se establece la proyección de habitantes del barrio por años detallado en la tabla 3 con una cantidad aproximada de 8905 habitantes en el año 2025:

Año	Crecimiento (%)	Parroquia San Pedro de Taboada	Barrio Capelo
2010	-	11,982	5991
2011	2.84%	12,322	6162
2012	2.81%	12,669	6335
2013	2.77%	13,020	6510
2014	2.73%	13,375	6688
2015	2.69%	13,736	6868
2016	2.66%	14,101	7051
2017	2.62%	14,470	7236
2018	2.58%	14,844	7423
2019	2.55%	15,222	7612
2020	2.51%	15,605	7803
2021	2.68%	16,022	8012
2022	2.68%	16,451	8226
2023	2.68%	16,892	8446
2024	2.68%	17,344	8672
2025	2.68%	17,808	8905

Tabla 3. Crecimiento poblacional del Barrio Capelo

Para determinar la cantidad de servicios que se podría ofertar en el sector se lo puede hacer en función de la cantidad de habitantes por familia del Ecuador es de 3.9 según el INEC [6], con lo cual en el barrio Capelo existirían estadísticamente 1761 familias a finales del año 2015.

El presente caso de estudio considerará que de la población existente, al menos el 80% contratará servicios con la Corporación Nacional de Telecomunicaciones debido a las siguientes razones:

[4] https://es.wikipedia.org/wiki/Cant%C3%B3n_Rumi%C3%B1ahui

[5] http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/Proyecciones_Poblacionales/proyeccion_cantonal_total_2010-2020.xlsx

[6] http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101501635/-1/Inec%3A_Tama%C3%B1o_promedio_del_hogar_ecuatoriano_es_de_3.9_personas.html#.Vy6G94ThCv8

- Un servicio de internet internacional con una velocidad de bajada de 5Mbps por FTTH, en la CNT EP se lo oferta con un costo de \$27.90 [7], mientras que en el único competidor con el mismo medio de transmisión (FIBRA ÓPTICA) en caso de coexistir en el mismo sector es de \$39.19 [8] por lo cual se tiene una clara ventaja a nivel de costos.
- A finales del año 2015 se evidenció que no existían otras empresas de telecomunicaciones que ofrecieran servicio de internet por fibra óptica en el sector, sino servicios inalámbricos (Radioenlace)
- La mayoría de pobladores ya tiene una línea telefónica con la CNT EP, la cual se migrará a GPON para no cambiar su número telefónico y adicional contar con servicio de Internet y de IPTV cuando se pueda ofrecerlo.

En conclusión, el diseño para el presente caso de estudio considerará una población inicial de 1409 familias y un crecimiento del 26.30% en los próximos 10 años.

A más de los cálculos y aproximaciones indicadas anteriormente se realizó un recorrido por el Barrio Capelo donde se pudieron observar e identificar la cantidad total de medidores de energía eléctrica existentes, los mismos que se puede observar en el plano del ANEXO 02 alcanzando un total de 1350 clientes potenciales en el sector, cifra definitiva que se utilizará en el presente caso de estudio y que es consistente con las cifras obtenidas en base a las cifras del INEC. Las ubicaciones de los mismos se encuentran en el Anexo 02 del presente caso de estudio que corresponde a un plano Georreferenciado del sector.

5.3 Áreas de dispersión (Cobertura de NAPs)

Para definir el tamaño de cada área de dispersión se tomará en cuenta las siguientes consideraciones:

5.3.1 Cajas de distribución óptica (NAPs)

Las cajas de distribución son los elementos a los cuales se conectarán los cables de dispersión provenientes de cada cliente final, es por ello que debe agrupar la mayor cantidad de cables de dispersión, pero manteniendo la posibilidad de contar con una óptima organización.

En el mercado se encuentran cajas de distribución óptica de 4, 8, 12 y 16 puertos de salida, de los cuales se utilizarán cajas de 12 puertos para conseguir una óptima agrupación, pero sin amontonar y desorganizar los cables, lo cual puede ocurrir probablemente en una caja de 16 puertos.



Para elegir la mejor marca de caja óptica se lo realizará en base a sus características técnicas y al precio referencial de cada una de acuerdo a los siguientes parámetros:

[7] <https://www.cnt.gob.ec/internet/plan/fibra-optica-para-hogares/>

[8] <http://www.netlife.ec/planes/hogares/internet-de-alta-velocidad/nuestros-planes/>

- **Herrajes:** Se ha considerado que las NAPs se ubicarán de manera aérea, por lo que cada NAP debe incluir como parte de sus accesorios los herrajes necesarios para su instalación y sujeción a postería de la empresa eléctrica Quito.
- **Tamaño:** Con el fin de no interrumpir a los demás proveedores de telecomunicaciones que utilizan la misma postería se ha definido que las NAPs no superen los 40cm de largo, 31cm de ancho y 15 cm de profundidad.
- **Número de acceso para cables:** Tomando en cuenta que en las cajas se podrá hacer un sangrado de cables, la misma deberá disponer de al menos un acceso para 2 cables para sangrar, 2 accesos para cables de 11 a 13.8mm. Adicionalmente debe poseer al menos 12 accesos para cables tipo drop plano (2x3mm).
- **Protección ambiental:** Debido a que la caja estará expuesta a condiciones ambientales tales como golpes, sol, riesgo de fuego, riesgo de crecimiento de hongos y presencia de lluvia vertical y diagonal se ha establecido que deberá requerir el cumplimiento de normas tales como:
 - ISO 846 [9]: Protección contra el crecimiento de hongos
 - UL94V0 [10]: Norma de seguridad de inflamabilidad
 - IK06 [11]: Resistencia a golpes
 - IP55 [12]: Hermeticidad y protección frente a polvo

Una vez que se ha realizado una búsqueda en el mercado local e internacional, los modelos y marcas que cumplen con al menos las características indicadas anteriormente se muestran en la tabla a continuación y el detalle de los precios de las mismas se muestran en el Anexo 4:

MARCA	MODELO	PRECIO (SIN IVA)	IMAGEN
TYCO	OFDC-C12	\$ 30.70	 <p>Tyco Electronics Our commitment. Your advantage.</p> <p>OFDC-C12</p>
JFOPT	JFOPP-PDB0216	\$ 46.83	

[9] ISO 846: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=20578

[10] UL94V0: http://ulstandards.ul.com/standard/?id=94_6

[11] IK06: <https://webstore.iec.ch/publication/6673>

[12] IP55: <https://webstore.iec.ch/publication/2452>

MARCA	MODELO	PRECIO (SIN IVA)	IMAGEN
OPTICHINA	F2H-FTB-16-C	\$ 52.52	
YOFC	GF-KSW-12	\$ 52.42	
FURUKAWA	FK-CTO-16MC	\$ 90.55	
JFOPT	FTT-H208	\$ 49.83	

Tabla 4. Precios unitarios referenciales Cajas Ópticas

Por lo anteriormente expuesto se considerará la utilización de la caja marca Tyco, por cumplir con los requerimientos técnicos y ser la de menor costo.

5.3.2 Cable de dispersión

Finalmente se debe considerar que la red de dispersión está formada por cables de acometida tipo DROP, uno por cada cliente final por lo cual no se requiere que tengan la misma robustez (protección y/o armadura) que presenta un cable de fibra óptica tradicional, sino más bien el elemento dirimente para este caso es el precio del cable, es por ello que se recomienda una distancia de tendido de cable de dispersión no mayor a 300 metros, lo cual dada la densidad poblacional del sector no será problema en mantener, con la consideración adicional que la NAP se debe colocar en el lugar más céntrico posible de cada área de dispersión para atender a los posibles clientes alrededor; las NAPs se instalarán de manera aérea en los postes de la empresa eléctrica para no incurrir en más gastos, teniendo en cuenta que ya existen convenios para uso de postería existente entre el proveedor CORPORACION NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP y la empresa eléctrica del sector. Para la sujeción del cable drop a los postes se utilizarán herrajes acordes al tipo de cable drop a utilizarse.

Para terminar, se debe considerar el crecimiento poblacional, que de acuerdo a lo explicado anteriormente en el punto 5.2 del presente caso de estudio es del 26.3% en 10 años, por lo cual las NAPs se las llenará en un promedio del 73.7% de su capacidad, es decir que al utilizar NAPs de 12 hilos se las diseñará máximo para 8 clientes en promedio pudiendo haber NAPs de 7, 8 o 9 clientes existentes en la actualidad máximo y dejando el resto de reserva para los próximos años.

Con las consideraciones anteriormente enunciadas al realizar el diseño se obtuvieron 174 áreas de dispersión, las mismas que en conjunto con la ubicación definida para las NAPs se muestra en el Anexo 3.

En la tabla 5 a continuación, se realiza una comparación de diferentes tipos de cables de fibra óptica drop para elegir el más conveniente y a continuación los parámetros técnicos que se toman en cuenta son:

- **Tamaño:** ya que el cable drop se utilizará para el tramo final desde la NAP hasta la localidad del cliente (inclusive en el interior de su domicilio), se requiere de un tamaño menor, es así que la mayor parte de las empresas de telecomunicaciones a nivel mundial actualmente como buena práctica de la industria utilizan cable de fibra óptica drop aérea de 2x5mm de 2 hilos de FO con mensajero, principalmente por su precio y por la facilidad en la instalación de la misma ya que no requiere de ningún herraje especial sino que el mensajero se puede enrollar en cualquier herraje previamente instalado.
- **Flexibilidad:** El hilo de fibra óptica debe poder ser muy flexible ya que en el domicilio del cliente el cable debe poder instalarse dentro de canaletas, tuberías, ser doblada o inclusive aplastada ligeramente, es por ello que el tipo de fibra óptica a utilizarse debe ser G657 y de esta clase la variedad A2, aunque ya se dispone de fibra óptica del tipo B, los precios por volumen de esta aún no han disminuido lo suficiente para poder ser comercializada masivamente. Una de las pruebas más comunes para comprobar la flexibilidad de las fibras ópticas de tipo A1, A2 y B está descrita en la norma IEC 60793-1-30:2010 [13] y se denomina atenuación de fibra por macro curvatura, la cual consiste en enrollar el hilo de fibra óptica sobre un objeto circular con radio de 15mm, se dan 10 vueltas de la fibra sobre este objeto ocasionándole a la fibra óptica una tensión (estrés) de al menos 0.69GPa y en ese momento la atenuación que presente dicho cable no podrá ser mayor de 0.03dB en la ventana de 1550nm, ni de 0.1dB en la ventana de 1625nm.

A continuación, en la tabla 5 se incluye un resumen de las marcas analizadas para el cable de fibra óptica drop con su precio, y en el ANEXO 04 el detalle de las mismas:

[13] Norma IEC 60793-1-30:2010 <https://webstore.iec.ch/publication/3447>

EMPRESA PROVEEDORA de cable de fibra óptica DROP	MARCA	MODELO	PRECIO POR METRO (SIN IVA)
FIBERHOME	FIBERHOME	2G657A2	\$ 0.09
OPTYTECH	JFOPT	GJYXFCH-2B6A2	\$ 0.14
CIEMTELCOM	YOFC	GJYXFCH-2B6A2	\$ 0.26
TELEWEI	TAKFLY	GJYXCH	\$ 0.12
ENERPETROL	ZHAOLONG	AERIALG657A2	\$ 0.15
GLOBALELECTRIC	SHG	GJYXFCH-2B6	\$ 0.20

Tabla 5. Precios unitarios referenciales Cable drop

5.3.3 Roseta óptica

En la localidad del cliente final se instalará un caja terminal para el cable de fibra óptica ingresado, dado que la fibra óptica drop es de 2 hilos se requerirán únicamente cajas terminales de 2 hilos comúnmente llamadas rosetas ópticas, las mismas que disponen de puertos SC (*Set and Connect*) con pulido APC (*Angled Physical Contact*), el cual presenta menos pérdidas de retorno que el pulido PC (*Physical Contact*) debido a que las superficies de contacto se construyen con un ángulo de inclinación de 8° lo cual produce que la luz reflejada no incida directamente de vuelta a la fuente emisora sino que se pierda sin afectarlo directamente, en la siguiente figura se presenta esta diferencia:

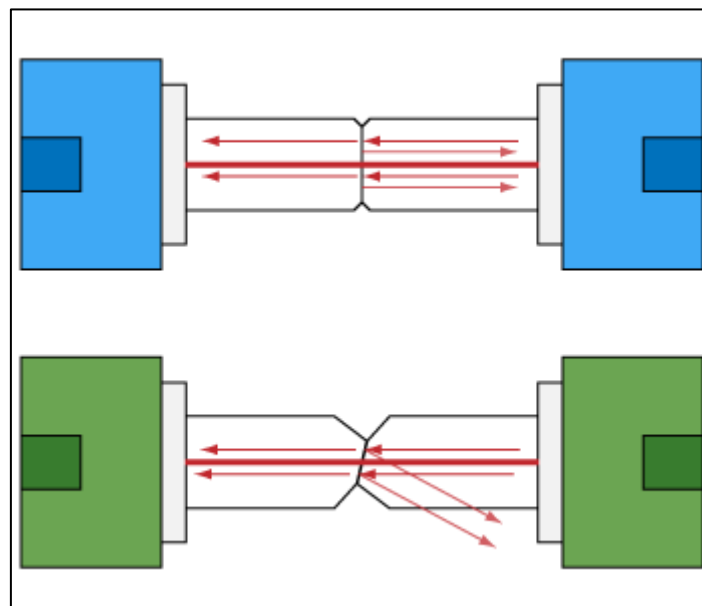


Figura 2. Pérdidas por reflexión conectores con pulido UPC vs APC. [14]

En la roseta finaliza la ODN, por lo que al momento de habilitar el servicio, el personal técnico instalará un patch cord para conectar la misma a la ONT, la cual es un equipo activo que entregará los servicios al cliente final. Cabe indicar que el presente caso de estudio no abarca los elementos activos de una red GPON sino únicamente la ODN.

[14] <http://www.fibraoptica hoy.com/tipos-de-pulidos-en-los-conectores-de-fibra-optica/>

5.4 Red de distribución (Cobertura de Armarios)

5.4.1 Armarios de Distribución óptica

El diseño de la red de distribución se basa primeramente en la ubicación de los armarios de distribución, los cuales se ha considerado para el presente diseño que pueden atender a 24 NAPs de 12 hilos cada una en condiciones normales y a 48 NAPs de 12 hilos cada una en sitios de alta demanda.

Las características técnicas básicas que se requieren para el armario de distribución GPON son:

- **Resistencia:** Puede ser fabricado con policarbonato reforzado con fibra de vidrio, de acero inoxidable o de aluminio, y debe resistir la torsión, álcalis, y los agentes atmosféricos como lluvia y sol. Para ello deben cumplir las normas:
 - IP55 [12]: Hermeticidad y protección frente a polvo
 - NEMA 12 [15]: Protección contra el ingreso de objetos
 - IK10 [11]: Resistencia a golpes
- **Capacidad:** Debe poder atender al menos a 288 clientes donde en el armario se pueda realizar la cross-conexión con patch cords que seguirán rutas preestablecidas de tal manera de procurar orden y organización de los mismos.
- **Splitters:** Debe permitir alojar al menos 9 splitters modulares 1x32 y preconectorizados de fábrica.
- **Cables de conexión a las redes feeder y distribución:** A fin de evitar una manipulación de los pigtails en el interior del armario y asegurar la menor cantidad de pérdidas en las fusiones al interior del armario, se requiere que el fabricante provea un tramo de cable de fibra óptica de 24 hilos de 30 metros que será fusionado en fábrica con los pigtails al interior del armario para los ingresos a los splitters; de la misma forma se requerirán cables de 144 hilos prefusionados de fábrica a los pigtails para las salidas de los splitters, de 30 metros de longitud. Cuando se realice la instalación del armario en el sitio designado, los cables de 30 metros prearmados de fábrica serán suficientes para conectar el armario a los sangrados de cables tanto de feeder como a las puntas de los cables de distribución.

En base a cotizaciones recibidas y de la información que reposa en el portal de compras públicas donde los armarios presentados cumplen con los requerimientos técnicos expuestos anteriormente (Anexo 04), los precios de armarios FTTH se detallan en el cuadro a continuación:

[11] IK06: <https://webstore.iec.ch/publication/6673>

[12] IP55: <https://webstore.iec.ch/publication/2452>

[15] NEMA 12 <https://www.nema.org/Products/Documents/nema-enclosure-types.pdf>

DISTRIBUIDOR	FIS	FYCO	OPTYTECH	ENERPETROL	GLOBAL	VIMACO
MARCA	FURUKAWA	LS PRODUCTS	JFOPT	ZTT	TYCO	ADC
PRECIO ARMARIO 288 PUERTOS	\$ 11000.00	\$ 10680.00	\$ 11309.35	\$ 8500.00	\$ 9000.00	\$ 7450.00
PRECIO ARMARIO 576 PUERTOS	-	-	\$ 19173.11	-	-	-

Tabla 6. Precios unitarios referenciales de armarios ópticos

Por lo anteriormente expuesto, para el presente caso de estudio se considerará para el armario de 288 hilos marca ADC a un costo de \$ 7450.00 y para el caso del armario de 576 puertos el armario de la marca JFOPT a un precio de \$ 19,173.11

5.4.2 Distritos

Los distritos son agrupaciones de NAPs, los mismos que están codificados numéricamente en grupos de 4 NAPs, y para diferenciar cada grupo entre si se utiliza una secuencia alfabética organizada de acuerdo a los hilos que se conecten en el armario de distribución de la siguiente forma:

HILOS DEL ARMARIO	GRUPO	# DE NAP DENTRO DEL GRUPO	NAP	HILOS DE LA NAP
1 al 12	A	1	A1	1 al 12
13 al 24	A	2	A2	1 al 12
25 al 36	A	3	A3	1 al 12
37 al 48	A	4	A4	1 al 12
49 al 60	B	1	B1	1 al 12
61 al 72	B	2	B2	1 al 12
73 al 84	B	3	B3	1 al 12
85 al 96	B	4	B4	1 al 12
97 al 108	C	1	C1	1 al 12
109 al 120	C	2	C2	1 al 12
121 al 132	C	3	C3	1 al 12
133 al 144	C	4	C4	1 al 12
145 al 156	D	1	D1	1 al 12
157 al 168	D	2	D2	1 al 12
169 al 180	D	3	D3	1 al 12
181 al 192	D	4	D4	1 al 12
193 al 204	E	1	E1	1 al 12
205 al 216	E	2	E2	1 al 12
217 al 228	E	3	E3	1 al 12
229 al 240	E	4	E4	1 al 12
241 al 252	F	1	F1	1 al 12
253 al 264	F	2	F2	1 al 12
265 al 276	F	3	F3	1 al 12
277 al 288	F	4	F4	1 al 12

Tabla 7. Distribución de hilos en un armario óptico y series de NAPs correspondientes.

Con el objetivo de reducir al máximo el número de fusiones que se realicen dentro de la red y dado que en cada fusión se considera una pérdida de 0.1dB se utiliza una técnica conocida como “sangrado”, la cual consiste en deschaquetar el cable de fibra óptica dentro de la caja de distribución (NAP) dejando los buffers visibles, de los cuales únicamente se ocupará el buffer que se requiera acorde con la tabla anterior y el resto de los mismos continuarán sin ser intervenidos. Sin embargo de lo anterior, en caso de tener cambios de ruta se pueden realizar derivaciones dentro de las mismas cajas donde se requerirán inevitablemente fusiones.

5.4.3 Cables de fibra óptica para distribución

Los cables a utilizarse en la red de distribución serán los que transportarán la señal desde las NAPS, que como ya se había indicado anteriormente tienen una capacidad de máximo 12 clientes cada una, por lo cual la capacidad de los cables de distribución será considerada en múltiplos de 12, esto coincide de igual manera con la cantidad de hilos de fibra óptica existentes por buffer, esto es un convencionalismo a nivel de fabricantes de fibra óptica que es de 12 hilos por cada buffer, es así que los cables a utilizarse serán de mediana capacidad (12-24-48-72-96 hilos) y dado que se instalarán en un recorrido mayoritariamente aéreo se deben tener en consideración las siguientes características:

- **Elemento de soporte:** existen dos tipos de cables de fibra óptica para tendido aéreo con relación al soporte de los mismos sobre los postes, el auto soportado y el soportado a través de cables mensajeros.
 - **Cable con mensajero:** En este cable la chaqueta del cable de fibra óptica es unida longitudinalmente con la chaqueta de un cable de acero trenzado, el mismo que soportará el peso de los dos cables al templarlos entre dos postes. A fin de instalar este cable mensajero en los postes se lo debe cortar haciendo prácticamente imposible una reubicación de postes, mantenimiento o reparación de la red en este tipo de cables sin el reemplazo del tramo requerido. Esta limitación hacen que este tipo de cables de fibra óptica también llamados figura 8 (al mirar transversalmente el cable de FO junto al mensajero aparenta un número 8) sean cada vez menos utilizados en la práctica.
 - **Cable auto soportado:** Comúnmente conocido como ADSS por sus siglas en inglés “*All-Dielectric Self-Supporting*”, lo que se refiere a que dentro de la chaqueta del cable y como parte integrante del mismo contienen un material hecho principalmente con kevlar que lo hace suficientemente fuerte como para soportar su propio peso al sostenerlo desde dos puntos (postes), este peso que soporta depende de la distancia entre los dos postes llamado “vano”. Conociendo que las redes GPON se implementan principalmente en los sectores urbanos, ya que son tecnologías que brindan servicios en zonas de alta densidad poblacional, se considera que debido a las políticas de las empresas eléctricas, la postera eléctrica se instala generalmente con vanos de 40 a 50 metros; bajo esta consideración y dado que los fabricantes de cables de fibra óptica los manufacturan con estándares de vanos de 80m y 120m principalmente para cables de accesos, se considera la utilización de cables de fibra óptica con vanos de 120m a fin de tenderlos en distancias más largas.
- **Tipo de fibra óptica:** Se dijo anteriormente que el cable drop, en vista que debe ser instalado dentro de las tuberías y canaletas de la localidad del cliente, debería ser flexible del tipo G657A2, sin embargo para el cable de distribución no se requiere de tal característica, en tal sentido de acuerdo con la recomendación de la ITU-T (International Telecommunication Union – Telecommunication division) G.650 donde se indican las características que deberían tener los cables de fibra óptica las cuales son dispersión cromática y por modo de polarización, atenuación, dimensiones, entre otros se han establecido tipos de hilos de fibra óptica monomodo que son:
 - G.652 Fibra monomodo estándar (SMF)
Diámetro de núcleo: 8.6-9.5 μm ,

Atenuación típica: 0.4 dB/km

Ventana de dispersión nula: 1310 nm

Utilizada comúnmente en redes de acceso y con producción mundial alta por lo cual su costo es bajo.

- G.653, con dispersión desplazada(DSF)
Diámetro de núcleo: 7.8-8.5 μm ,
Atenuación típica: 0.35 dB/km
Ventana de dispersión nula: 1550 nm
- G.654, con corte desplazado
Diámetro de núcleo: 9.5-10.5 μm ,
Ventana de dispersión nula: 1500-1600 nm
- G.655, con dispersión desplazada no nula (NZ-DSF)
Optimizada para distancias superiores a los 100 km

En el presente caso de estudio al tener distancias inferiores a los 10 km y requerir un cable de fibra óptica de menor costo se optará por el cable G.652, dentro de este tipo hay subclasificaciones adicionales que de acuerdo con la ITU-T G.652 [15] son:

- G.652 A
Soporta los estándares G.957 y G.691
Opera en sistemas hasta STM-16, así como 10 Gbps hasta 40km (Ethernet)

Cuadro 1/G.652 – Atributos G.652.A		
Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	$0,092 \text{ ps/nm}^2 \times \text{km}$
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310 nm	0,5 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD_Q máximo	$0,5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$
NOTA – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD_Q para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable PMD_Q		

Tabla 6. Norma G.652 A: Características técnicas. [16]

○ G.652 B

Soporta aplicaciones de velocidad binaria hasta STM-64, tales como algunas de las descritas en las Recs. UIT-TG.691 y G.692, y STM-256 para algunas aplicaciones de las Recs. UIT-TG.693 y G.959.1.

En función de la aplicación, puede ser necesario adaptar la dispersión cromática.

Cuadro 2/G.652 – Atributos G.652.B		
Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0,092 ps/nm ² × km
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310 nm	0,4 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
	Máximo a 1625 nm	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD _Q para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable PMD _Q .		

Tabla 7. Norma G.652 B: Características técnicas. [16]

[16] ITU-T G.652: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-201611-P/es>

○ G.652 C

Presenta características semejantes a G.652.A, pero permite transmisiones en partes de una gama de longitudes de onda ampliada desde 1360nm a 1530nm.

Cuadro 3/G.652 – Atributos G.652.C		
Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0,092 ps/nm ² × km
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm (Nota 2)	0,4 dB/km
	Máximo de 1383 nm ± 3 nm	(Nota 3)
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTA 1 – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD_Q para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable PMD_Q.</p> <p>NOTA 2 – Esta región de longitud de onda puede ampliarse hasta 1260 nm añadiendo 0,07 dB/km de pérdida por dispersión de Rayleigh inducida al valor de atenuación a 1310 nm. En este caso, la longitud de onda de corte del cable no deberá sobrepasar 1250 nm.</p> <p>NOTA 3 – La atenuación media detectada en muestras a esta longitud de onda debe ser menor o igual al valor especificado para el intervalo 1310 nm a 1625 nm, después del proceso de envejecimiento del hidrógeno conforme a CEI 60793-2-50 en relación con la categoría de fibra B1.3.</p>		

Tabla 8. Norma G.652 C: Características técnicas. [16]

[16] ITU-T G.652: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-201611-P/es>

○ G.652 D

Presenta características semejantes a G.652.B, pero permite transmisiones en partes de una gama de longitudes de onda ampliada desde 1360nm a 1530nm.

Cuadro 4/G.652 – Atributos G.652.D		
Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	$0,092 \text{ ps/nm}^2 \times \text{km}$
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm (Nota 2)	0,4 dB/km
	Máximo de 1383 nm ± 3 nm	(Nota 3)
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	$0,20 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTA 1 – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD_Q en la fibra no cableada para soportar el requisito primario de PMD_Q del cable.</p> <p>NOTA 2 – Esta región de longitud de onda puede ampliarse hasta 1260 nm añadiendo 0,07 dB/km de pérdida por dispersión de Rayleigh inducida al valor de atenuación a 1310 nm. En este caso, la longitud de onda de corte del cable no deberá sobrepasar 1250 nm.</p> <p>NOTA 3 – La atenuación media detectada en muestras a esta longitud de onda debe ser menor o igual al valor especificado para el intervalo 1310 nm a 1625 nm después del proceso de envejecimiento del hidrógeno conforme a CEI 60793-2-50 en relación con la categoría de fibra B1.3.</p>		

Tabla 9. Norma G.652 D: Características técnicas. [16]

[16] ITU-T G.652: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-201611-P/es>

Por lo anteriormente expuesto, y dado que la fibra óptica G.652D es la que presenta mayores prestaciones, se escogerá este tipo de hilo para el presente caso de estudio, cabe indicar adicionalmente que es la fibra óptica que más se fabrica en el mercado para redes de acceso.

- **Enchaquetado:** Al ser un cable para exteriores se requiere que la chaqueta proteja a los cables de fibra óptica de la humedad, crecimiento de hongos, luz ultravioleta, entre otros, es por ello que su construcción debe estar realizada de polietileno puro de alta densidad en un espesor mínimo 1.8mm.
- **Buffer:** A fin de proteger a los hilos de fibra óptica de uno de los principales factores externos dañinos que es el agua en caso que la chaqueta externa falle y a fin de evitar en lo posible de atenuaciones por macro curvaturas se recomienda que los buffers sean del tipo loose tube, es decir que los hilos de fibra óptica no estén sujetos al PBT del buffer sino libres dentro del mismo rodeado de un compuesto dieléctrico taponante tipo Gel que evitará que los hilos se expongan al agua en caso de una fisura de la chaqueta principal.

En función de las características técnicas necesarias y detalladas anteriormente se han solicitado cotizaciones a varias empresas distribuidoras de fibra óptica, las mismas que se encuentran en el anexo 04 del presente caso de estudio y cuyo resumen de precios unitarios (por cada metro de fibra óptica ofertado sin incluir el IVA) se muestra en la tabla a continuación, cabe indicar que al contar con características técnicas similares, para el presente caso de estudio se considerará el menor precio mostrado en la columna final de la mencionada tabla:

	DISTRIBUIDOR	FIS	FYCO	CIEMTELCOM	OPTYTECH	PRECIO
	MARCA	FURUKAWA	LS PRODUCTS	YOFC	MERCURY	MÍNIMO
NÚMERO DE HILOS	12	\$ 1.06	\$ 0.82	\$ 1.55	\$ 1.65	\$ 0.82
	24	\$ 1.18	\$ 1.05	\$ 1.74	\$ 1.85	\$ 1.05
	48	\$ 1.65	\$ 1.45	\$ 2.25	\$ 2.53	\$ 1.45
	72	-	\$ 2.08	\$ 2.59	\$ 2.85	\$ 2.08
	96	-	\$ 2.82	\$ 3.08	\$ 3.10	\$ 2.82

Tabla 10. Precios de cables de fibra óptica aéreos ADSS vanos 120 metros.

5.4.4 Herrajes para cables de fibra óptica para distribución

Los herrajes sirven para sujetar los cables de fibra óptica a los postes, para este fin existen dos tipos de herrajes, los herrajes tipo A que sirven para templar el cable con la ayuda de preformados y sostener su peso en los extremos de la ruta o en los cambios de sentido de la misma y los herrajes tipo B, los cuales se utilizan para suspender la fibra óptica y evitar que se pandee.

A fin de proteger a los herrajes de las inclemencias del tiempo y así evitar un problema en la red se requiere que los mismos sean galvanizados con un espesor mínimo de 0.8mm, adicionalmente en concordancia con los cables de fibra óptica los mismos deben soportar vanos de al menos 120 metros.

En la tabla a continuación se presenta un resumen de precios de cotizaciones obtenidas, las mismas que se detallan en el anexo 04 y de las cuales se ha podido encontrar la oferta de menor valor la misma que será utilizada en el presente caso de estudio:

	DISTRIBUIDOR			PRECIO MINIMO
	FYCO	JAHEN	OPTYTECH	
HERRAJE				
TIPO A PARA FIBRA ÓPTICA (VANO 120M - 2 EXT)	\$ 5.73	\$ 4.00	\$ 4.12	\$ 4.00
TIPO B (CÓNICO) PARA CABLE DE FIBRA OPTICA	\$ 10.80	\$ 6.60	\$ 12.68	\$ 6.60
PREFORMADO HELICOIDAL PARA FIBRA ÓPTICA (VANO 120 M)	\$ 5.25	\$ 5.00	\$ 8.32	\$ 5.00
CRUCE AMERICANO PARA FIBRA ÓPTICA	\$ 8.00	\$ 2.25	\$ 6.00	\$ 2.25
SUBIDA A POSTE PARA FIBRA ÓPTICA	\$ 24.57	-	\$ 42.00	\$ 24.57

Tabla 11. Precios de herrajes aéreos para fibra óptica.

5.5 Red feeder

5.5.1 Splitters

Como se indicó anteriormente, los splitters son divisores ópticos que reciben la señal proveniente desde la OLT y la envían hacia varios equipos terminales optimizando de esta manera la cantidad de hilos de fibra óptica que se requieren desde la OLT hasta el splitter. Al realizar esta división, se pierde mucha de la potencia inicialmente enviada, lo cual es un gran limitante al momento de escoger una opción de splitter.

Sin embargo, una de las principales características a tener en cuenta para la elección de un splitter es la velocidad final requerida, para el presente caso de estudio se considerará brindar por lo menos los siguientes servicios:

- **Televisión IPTV:** Para este caso se debe tomar en cuenta que de acuerdo con el INEC, una familia promedio de clase media en el Ecuador está conformada por Padre, Madre y 2 hijos, por lo tanto mínimo se requerirá poder entregar 3 canales independientes para sus tres habitaciones y en muchos casos un cuarto canal para la sala.
- **Servicio de Internet:** En este caso más que la necesidad real de cada usuario se debería tomar en cuenta la competencia existente no solo en el barrio Capelo, sino en el Ecuador, donde la principal competencia la conforma la empresa NETLIFE, en cuyo plan más básico de internet se ofertan 15Mbps, lo cual se utilizará como referencia mínima en el presente caso de estudio.
- **Telefonía:** Para este caso se considerará que cada usuario residencial solicitará al menos un número telefónico fijo, el cual es entregado por la OLT MA5600 marca Huawei bajo el estándar G.711.

Por las consideraciones anteriormente expuestas se requerirá de un ancho de banda de bajada de por lo menos 39.0952 kbps con posibilidad de expansión, el detalle de los requerimientos mínimos se muestran en la tabla a continuación:

SERVICIO	ANCHO DE BANDA REQUERIDO
3 canales FHD	24 Mbps
Internet	15 Mbps
Voz (G711)[17]	95.2kbps
TOTAL	39.0952kbps

Tabla 12. Ancho de banda de los servicios mínimos a prestar.

Y dado que cada puerto GPON puede brindar una velocidad de bajada de máximo 2Gbps, a continuación se determinará el splitteo máximo (divisiones máximas permitidas por cada puerto) a utilizarse para poder brindar los servicios ofertados:

$$Splitteo = \frac{Velocidad_{puerto}}{Velocidad_{servicios\ total}} = \frac{2\ Gbps}{39.0952Mbps} = 51.16\ divisiones$$

Al fabricar splitters el splitteo se realiza dividiendo la señal original en múltiplos de 2, lo cual inserta pérdidas teóricas de 3.5dB en cada división, es así que se tienen los niveles de splitteo:

Nivel de Splitteo	Pérdida [dB]	Velocidad máxima para todos los usuarios [Mbps]
1x2	3.5	1000
1x4	7	500
1x8	10.5	250
1x16	14	125
1x32	17.5	62.5
1x64	21	31.25
1x128	24.5	15.625

Tabla 13. Relación entre el nivel de splitteo, pérdida en splitter y velocidad máxima por cada usuario.

Por lo anteriormente expuesto, para el presente caso de estudio se utilizará splitteo de 1x32 (no se puede realizar de 64 divisiones ya que el máximo calculado para el ancho de banda requerido es de 51.16 veces), el cual permite brindar una velocidad máxima de descarga, en el caso que los 32 usuarios conectados utilicen su máximo ancho de banda, de 62.5 Mbps y que introducirá por cada splitter una pérdida teórica máxima de 17.5dB

Luego de haber solicitado cotizaciones a cerca de splitters conectorizados 1x32 para armario a varias empresas distribuidoras de fibra óptica, se recibieron varias cotizaciones cuyos precios se muestran a continuación:

DISTRIBUIDOR		PRECIO MINIMO
FYCO	OPTYTECH	
\$ 1,176.00	\$ 1,309.20	\$ 1,176.00

Tabla 14. Precios referenciales unitarios de splitter 1x32 conectorizado para armario GPON.

[17] <https://www.voztovoice.org/?q=node/562>

Tomando en cuenta el splitteo escogido y las 174 áreas de dispersión determinadas, y con el objetivo de no sobrelapar áreas de distribución, se requerirán 6 distritos con capacidad máxima de 288 clientes y 1 distrito con capacidad de 576 clientes máximo, distribuidos en el área de cobertura de las NAPS, que mantendrán la siguiente distribución de hilos y la siguiente codificación:

DISTRITO	CAPACIDAD FEEDER / DISTRIBUCIÓN	
	CAPACIDAD MÁXIMA [HILOS/USUARIOS]	HILOS DEL FEEDER
121.FT03_01	9/288	1..9
121.FT03_02	18/576	13..21 25..33
121.FT03_03	9/288	37..45
121.FT03_04	9/288	49..57
121.FT03_05	9/288	61..69
121.FT03_06	9/288	73..81
121.FT03_07	9/288	85..93
TOTAL	72/2304	72

Tabla 15. Codificación y distribución de hilos de feeder.

5.5.2 Cable de feeder

Una vez que se ha definido la ubicación de los armarios y las correspondientes redes de distribución y dispersión, se requerirá el medio de transmisión que alimentará a los armarios desde la OLT ubicada en la Central telefónica de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones en San Rafael.

Debido a que por el cable de feeder se transmitirá la información para todos los usuarios de la red, es considerada la parte más sensible de la misma, ya que en caso de presentarse algún corte o problema en este cable, todos los clientes se verán afectados, es por ello que el presente caso de estudio considerará que todo el cable feeder tendrá su recorrido por canalización subterránea, aprovechando la canalización existente propiedad de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP.

Otra de las consideraciones necesarias es conocer la cantidad de hilos que se requerirán, para lo cual se puede considerar que al tener 6 armarios de distribución donde para cada uno se destinará un buffer de 12 hilos del cable de feeder para mantener la organización del mismo y 1 armario donde se destinarán 2 buffers de 12 hilos, por lo tanto el diseño para el barrio de Capelo requerirá de mínimo 96 hilos.

Se debe anotar que el presente caso de estudio considera la atención exclusiva de clientes masivos, sin embargo los feeders una vez implementados atenderán adicionalmente clientes corporativos, clientes gubernamentales, clientes industriales y clientes internos, como lo son radiobases en el barrio Capelo y además atenderá a barrios adicionales en el recorrido del feeder desde San Rafael hasta Capelo, es por ello que no se puede establecer una proyección de crecimiento para este tipo de clientes, en ese caso se ha considerado la utilización de cable de fibra óptica de 288 hilos indicando adicionalmente que los otros segmentos de clientes mencionados utilizan sus propias redes de distribución y dispersión por lo cual no afecta el diseño realizado en el presente caso de estudio.

Cabe indicar que las características requeridas para el cable de feeder son similares al de los cables de distribución con la consideración adicional que en vista que el recorrido será en canalizaciones donde eventualmente podría existir la presencia de roedores que dañen los cables es imprescindible otorgarles una protección adicional ante este tipo de mordeduras, para estos casos lo más recomendable es una armadura metálica fabricada en acero corrugado de al menos 0.15mm de espesor ubicada debajo de la chaqueta externa de polietileno.

A continuación se presenta un cuadro resumen de las cotizaciones recibidas para el cable armado de 288 hilos (por cada metro sin incluir el IVA), el cual se utilizará para la construcción del feeder en el presente caso de estudio:

DISTRIBUIDOR		PRECIO MINIMO
CIEMTELCOM	OPTYTECH	
\$ 4.56	\$ 9.20	\$ 4.56

Tabla 16. Precios referenciales unitarios de cable de fibra óptica armado de 288 hilos.

5.5.3 Rack y ODFs de planta externa

Serán los extremos iniciales de la ODN desde donde se instalarán patch cords hacia la OLT, para determinar el modelo de ODF más conveniente para utilizar se debe tomar en cuenta que los puertos de la OLT permanentemente están emitiendo potencia lumínica mediante fuente laser perjudiciales para la vista humana, es por ello que una de las principales características que se va a considerar para el presente caso de estudio es que el patcheo se realice lateralmente con el objetivo de que el operador o instalador no observe directamente la luz que se emite desde el ODF como se puede observar en la figura a continuación:



Figura 3. ODF de patcheo lateral

Adicionalmente debido a que el cable del feeder es de alta capacidad se requieren ODFs de igual manera, para el presente caso de estudio se considerarán ODFs de patcheo lateral de 96 puertos y racks que permitan alojar a los mismos.

Finalmente, a fin de disminuir las pérdidas entre los patch cords y los pigtails se ha considerado de la misma forma que en las rosetas y NAPs la utilización de conectores SC con pulido APC, en la siguiente tabla se realiza un estudio comparativo de precios de los ODFs y Racks previstos, basados en las cotizaciones detalladas en la tabla 16, de las cuales se considerarán los precios menores:

MATERIAL	DISTRIBUIDOR			PRECIO MINIMO
	FIS	FYCO	OPTYTECH	
RACK DE 19" - 2,2 METROS CON SERVICIOS DE PACHEO LATERAL	-	\$ 2,268.00	\$ 2,950.00	\$ 2,268.00
ODF DE 96 HILOS CON PACHEO LATERAL	\$ 1,520.00	\$ 1,440.00	\$ 1,848.53	\$ 1,440.00

Tabla 16. Precios referenciales unitarios de ODFs y rack para patcheo lateral.

5.6 Volúmenes de materiales

Con las consideraciones explicadas y detalladas en los puntos anteriores se ha procedido a obtener con ingeniería de detalle los volúmenes de materiales necesarios para implementar la red GPON pasiva para atender clientes masivos en el barrio Capelo del Cantón Rumiñahui en la Provincia de Pichicha, estos volúmenes junto con los precios unitarios antes detallados permiten obtener el presupuesto que se muestra a continuación:

5.6.1 Red Feeder

MATERIAL	U	QTY	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
MANGA SUBTERRÁNEA PARA FUSIÓN DE 48 FO, TIPO DOMO	U	3	\$ 132.00	\$ 396.00
MANGA SUBTERRÁNEA PARA FUSIÓN DE 96 FO, TIPO DOMO	U	22	\$ 145.00	\$ 3,190.00
MANGA SUBTERRÁNEA PARA FUSIÓN DE 24 FO, TIPO DOMO	U	4	\$ 125.00	\$ 500.00
MANGA SUBTERRÁNEA PARA FUSIÓN DE 288 FO, TIPO DOMO	U	9	\$ 516.13	\$ 4,645.17
CABLE ARMADO 288 FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO G652.D	m	6761	\$ 7.56	\$ 51,113.16
RACK DE 19" - 2,2 METROS CON SERVICIOS DE PACHEO LATERAL	U	1	\$ 2,268.00	\$ 2,268.00
ARMARIO FTTH DE 288 PUERTOS	U	6	\$ 7,450.00	\$ 44,700.00
ARMARIO FTTH DE 576 PUERTOS	U	1	\$ 19,173.11	\$ 19,173.11
ODF DE 96 HILOS CON PACHEO LATERAL	U	3	\$ 1,440.00	\$ 4,320.00
SPLITTER MODULAR (1X32) CONECTORIZADO PARA ARMARIO	U	8	\$ 1,176.00	\$ 9,408.00

SUBTOTAL FEEDER \$ 139,713.44

Tabla 17. Presupuesto requerido para la red feeder

5.6.2 Red de Distribución

MATERIAL	U	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	QTY	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
MANGA SUBTERRÁNEA PARA FUSIÓN DE 24 FO	U		2						2	\$ 125.00	\$ 250.00
MANGA SUBTERRÁNEA PARA FUSIÓN DE 48 FO	U		2						2	\$ 132.00	\$ 264.00
MANGA SUBTERRÁNEA PARA FUSIÓN DE 96 FO	U	7	4	3	6	5	1	2	28	\$ 145.00	\$ 4,060.00
CABLE ADSS 12 FIBRAS ÓPTICAS G.652.D (120 M)	m	627	1276	348	212	155	653	1382	4653	\$ 0.82	\$ 3,815.46
CABLE ADSS 24 FIBRAS ÓPTICAS G.652.D (120 M)	m	331	1916	663	727	815	759	703	5914	\$ 1.05	\$ 6,209.70
CABLE ADSS 48 FIBRAS ÓPTICAS G.652.D (120 M)	m	551	1799	391		659		737	4137	\$ 1.45	\$ 5,998.65
CABLE ADSS 72 FIBRAS ÓPTICAS G.652.D (120 M)	m	450	752	289	303		521		2315	\$ 2.08	\$ 4,815.20
CABLE ADSS 96 FIBRAS ÓPTICAS G.652.D (120 M)	m	1266	2285	446	805	1082	2024	1632	9540	\$ 2.82	\$ 26,902.80
CAJA DE DISTRIBUCIÓN AÉREA 12 PUERTOS SC/APC	U	23	44	17	23	18	24	24	173	\$ 140.00	\$ 24,220.00
HERRAJE TIPO A (VANO 120M - 2 EXT)	U	28	69	33	28	33	56	69	316	\$ 4.00	\$ 1,264.00
HERRAJE TIPO B (CÓNICO)	U	4	11	9	6	7		17	54	\$ 6.60	\$ 356.40
PREFORMADO HELICOIDAL (VANO 120 M)	U	41	112	47	34	45	99	137	515	\$ 5.00	\$ 2,575.00
HERRAJE CRUCE AMERICANO	U		1				2	6	9	\$ 2.25	\$ 20.25
SUBIDA A POSTE	U	12	21	5	13	7	12	6	76	\$ 24.57	\$ 1,867.32

SUBTOTAL RED DE DISTRIBUCIÓN \$ 82,618.78

Tabla 18. Presupuesto requerido para la red de distribución

5.7 Cálculo del presupuesto óptico

A fin de confirmar que los valores de atenuación total se encuentren dentro de los parámetros permitidos para una red GPON clase B que son de mínimo 10dB y máximo de 25 dB tal como se indicó anteriormente se realizará el cálculo del presupuesto óptico teórico bajo las siguientes consideraciones:

- **Pérdida por fusión:** Aunque con las fusionadoras actuales la pérdida puede llegar teóricamente al orden de los 0.01dB es recomendable manejar un valor de 0.1dB.
- **Pérdida por conector:** Se considera una pérdida de 0.5dB por cada conector.
- **Pérdida en la fibra óptica:** Para el cable G.652D se considera una pérdida de 0.35dB por cada kilómetro de cable tal como lo indica la norma ITU G.652.

5.7.1 Cliente más lejano

Para este caso se consideran todas las pérdidas existentes desde el puerto de la OLT hasta el puerto de la ONT de acuerdo con el siguiente diagrama:

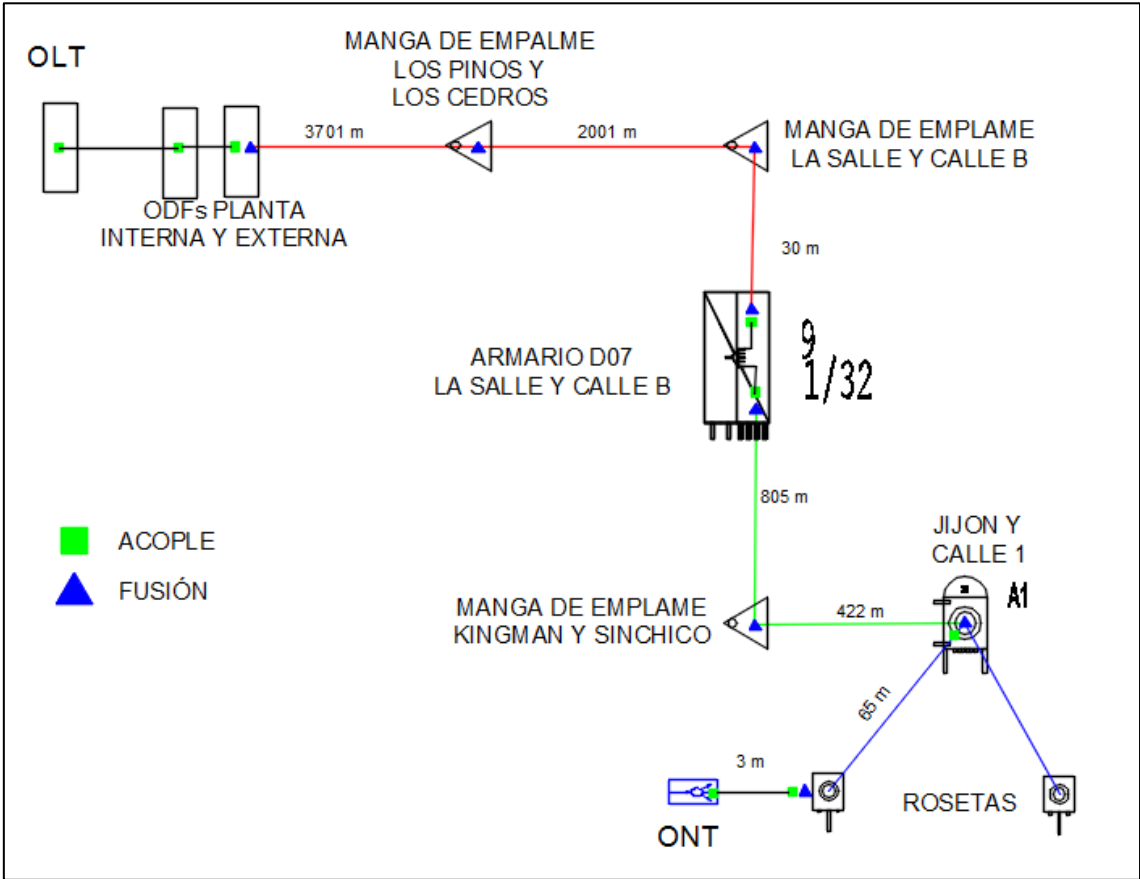


Figura 4. Diagrama para el usuario crítico más lejano

ELEMENTO	CANTIDAD	PÉRDIDA TEÓRICA POR ELEMENTO [dB]	PÉRDIDA TOTAL
Conector	8	0.5	4
Fusión	8	0.1	0.8
Km de cable de FO	7.037	0.35	2.463
Splitter 1x32	1	17.5	17.5

Pérdida TOTAL 24.763 dB

Tabla 19. Presupuesto óptico calculado para el usuario más lejano

Por lo anteriormente expuesto se tienen una pérdida de 24.76 dB, lo cual es inferior al máximo permitido que es 25dB, en consecuencia se valida el diseño para el usuario más lejano.

5.7.2 Cliente más cercano

El caso crítico más cercano se muestra a continuación:

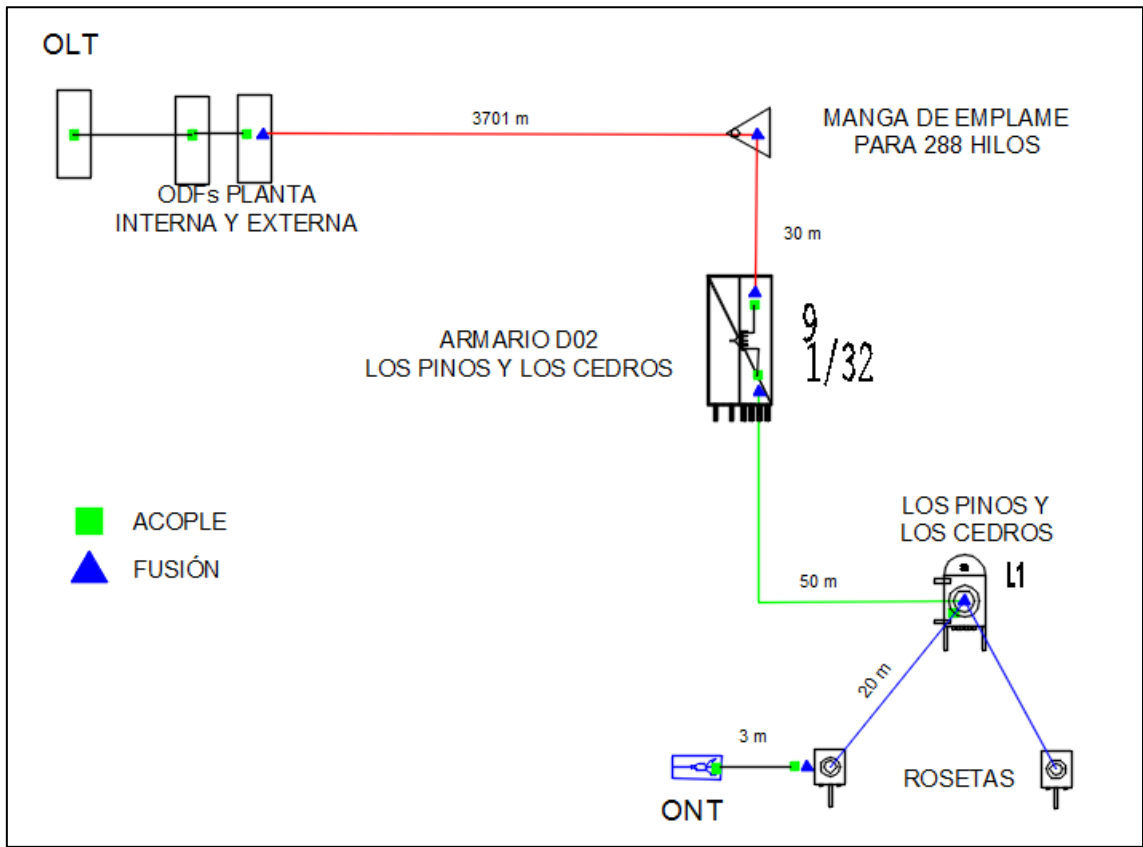


Figura 5. Diagrama para el usuario crítico más cercano

ELEMENTO	CANTIDAD	PÉRDIDA TEÓRICA POR ELEMENTO [dB]	PÉRDIDA TOTAL
Conector	8	0.5	4
Fusión	6	0.1	0.6
Km de cable de FO	3.814	0.35	1.335
Splitter 1x32	1	17.5	17.5

Pérdida TOTAL 23.435 dB

Tabla 20. Presupuesto óptico calculado para el usuario más cercano

Por lo anteriormente expuesto se comprueba que la pérdida teórica encontrada (23.435 dB) está dentro del parámetro requerido para el usuario más cercano que es de mínimo 10 dB.

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

- Una red GPON, es un tipo de red PON, la cual está basada en las normativas dadas por el ITU-T, es por ello que para poder escoger la adecuada se deben analizar sus ventajas y desventajas, y sobre todo pensando en el futuro, ya que con el avance de la tecnología, hoy en día los períodos de maduración de la tecnología y el tiempo en el que llegan a la obsolescencia cada vez son más cortos.
- Al determinarse la proyección de habitantes con los datos del INEC y haberse realizado un recorrido en el barrio estudiado se puede concluir que los datos son concordantes y por lo tanto el crecimiento proyectado se está cumpliendo hasta el momento, lo cual confirma que las consideraciones de diseño tomadas en el presente caso de estudio serán valederas sobre el tiempo proyectado de 10 años.
- Para realizar un diseño de una red GPON es muy importante iniciar desde los clientes finales e irlos agrupando primero en áreas de dispersión, luego en áreas de distribución o distritos y finalmente en el área de cobertura década feeder, así se garantiza una utilización óptima de los enlaces.
- El cable de feeder es un elemento muy sensible ya que el mismo transportará a los miles de clientes existentes (en su máxima capacidad), concluyéndose así que se le debe brindar las mayores protecciones y la mejor forma de hacerlo es enterrándolo, lo cual incluso mejorará el costo/beneficio al minimizar el mantenimiento requerido prácticamente a cero en el cable de feeder al tenerlo subterráneo.
- El nivel de splitteo que se podría utilizar se determina en función del ancho de banda máximo que se podrá ofertar al mismo tiempo desde cada puerto de la OLT, sin embargo hasta cierto punto esto no sería la realidad, ya que la probabilidad de que todos los usuarios estén utilizando la red a su máxima capacidad (internet, IPTv y telefonía) es mínima, en cuyo caso se podría hablar de realizar un splitteo de 1x64 a fin de atender a un mayor número de clientes con menos recursos.
- En cuanto al presupuesto económico, en el presente caso de estudio se ha definido la marca del material que se requerirá implementar en la red GPON en función de su costo unitario, sin embargo en la práctica no es el único parámetro dirimente por lo cual se puede concluir que existen otras características tanto o más importantes, las mismas que son por ejemplo, stock en bodegas locales, garantía extendida, soporte técnico, compatibilidad entre marcas, entre otras.
- Dentro del presupuesto óptico, al hablar de “distancia máxima de la red GPON” se concluye que está directamente relacionada con el presupuesto óptico máximo que soporta la ODN, en este caso 25dB, sin embargo uno de los principales aportes no es la distancia de la fibra óptica que tiene una pérdida referencial de 0.35 dB/km, sino más bien la cantidad de empalmes mecánicos existentes que son de 0.5dB/km, es decir que si se consiguiera disminuir la cantidad de empalmes mecánicos se podría extender aún más la red, esto se podría lograr inicialmente reduciendo la cantidad de empalmes tanto en la central telefónica como en las NAPs fusionando directamente los hilos de fibra óptica.

6.2 Recomendaciones

- Encontrar opciones escalables en cuanto a redes PON, por ejemplo las que permitan reutilizar parte de la infraestructura ya instalada pudiendo cambiar de tecnología GPON a 10GPON con el simple aumento de módulos en las OLTs existentes.
- Realizar un estudio para determinar la diferencia en costos en relación a implementar una ODN con splitteo 1x32 vs implementar varias redes de menor alcance en km con splitteo 1x64.
- Realizar un estudio acerca de la tecnología 10GPON y la factibilidad de poder instalarla con el equipamiento activo y pasivo ya desplegado.
- Realizar un estudio acerca del diseño de redes GPON en otros escenarios, por ejemplo dentro de edificios, urbanizaciones, centros comerciales, entre otros, ya que el alcance del presente caso de estudio se limitó únicamente a un entorno residencial dentro de un barrio.

7. Bibliografía:

- [1] <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/735/1/T-ESPE-025270.pdf>
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Passive_optical_network
- [3] Recomendaciones ITU-T G.98x <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2/es>
- [4] https://es.wikipedia.org/wiki/Cant%C3%B3n_Rumi%C3%B1ahui
- [5] http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/Proyecciones_Poblacionales/proyeccion_cantonal_total_2010-2020.xlsx
- [6] http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101501635/-1/Inec%3A_Tama%C3%B1o_promedio_del_hogar_ecuatoriano_es_de_3.9_personas.html#.Vy6G94ThCv8
- [7] <https://www.cnt.gob.ec/internet/plan/fibra-optica-para-hogares/>
- [8] <http://www.netlife.ec/planes/hogares/internet-de-alta-velocidad/nuestros-planes/>
- [9] ISO 846: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=20578
- [10] UL94V0: http://ulstandards.ul.com/standard/?id=94_6
- [11] IK06: <https://webstore.iec.ch/publication/6673>
- [12] IP55: <https://webstore.iec.ch/publication/2452>
- [13] Norma IEC 60793-1-30:2010 <https://webstore.iec.ch/publication/3447>
- [14] <http://www.fibraoptica hoy.com/tipos-de-pulidos-en-los-conectores-de-fibra-optica/>
- [15] NEMA 12 <https://www.nema.org/Products/Documents/nema-enclosure-types.pdf>
- [16] ITU-T G.652: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-201611-P/es>
- [17] <https://www.voztovoice.org/?q=node/562>
- [18] Precios cajas ópticas:
https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=m2L6znQBCDqtNn3CNuauK1ICpsAEVzShwxg28_tPL6A
- [19] Precios cable drop:
<https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/app/webroot/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=Vm4wcs5g0ZTPLI6bdXY2KRw6Y6bQmT1itcMDDZQxcvw>
- [20] Precios de armarios GPON:
<https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/ResumenPujada.cpe?id=xX0FDHvcqWAQyLB7eL3V5kZNN08k3xa4yU6sLWFPKDE>

Anexo 1

DATASHEET

OLT HUAWEI MA 5600

ONT HUAWEI ONT HG8245

ANEXO 2

PLANO CON UBICACION DE ONTs DENTRO DEL BARRIO CAPELO

ANEXO 3

AREAS DE DISPERSION

UBICACIÓN DE NAPS Y ARMARIOS

ANEXO 4
COTIZACIONES